



DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

Santiago, RM

**DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
RED NACIONAL DE ALERTA DE EVENTOS
HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS**

S.I.T. N° 481 de 2021

ETAPA IV

TOMO I REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

INRHED SPA- EMERGE INGENIERÍA

Santiago, Octubre 2021

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Industrial Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Oscar Cristi Marfil

Jefe de División de Hidrología
Ingeniero Civil, Sr. Luis Alberto Moreno

Inspector Fiscal
Geógrafo, Sr. Rodrigo Sáez

INRHED SPA

Reynaldo Payano Almánzar
Jefe de Estudio
Ingeniero Civil, Hidrólogo PhD

Profesionales:

Ingeniero de Proyecto Jorge Andrés Smith Irazábal
Economista Jean Maldonado
Especialista Geomensura, Carlos Castro
Ingeniero de Proyecto, Carla Bravo
Ingeniero Civil, Alexander Fuentealba
Sociólogo Andrés Santander

Tabla de Contenido General

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo General	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	METODOLOGÍA.....	4
3	RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL	7
3.1	ESTACIONES CRÍTICAS FINALES	10
3.2	ESTACIONES NUEVAS.....	11
3.3	ESTACIONES DE APOYO	12
4	PLAN DE ACCIÓN	13
4.1	VALORIZACIÓN DE LA RED	13
4.2	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS.....	14
4.2.1	Estaciones meteorológicas.....	14
4.2.2	Estaciones fluviométricas	14
4.3	EVALUACIÓN DE COSTOS	16
4.3.1	Estaciones meteorológicas.....	17
4.3.2	Estaciones fluviométricas	18
4.3.3	Costo total	18
5	PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA	19
5.1	IDENTIFICACIÓN LUGAR DE POZOS.....	19
5.2	EVALUACIÓN DE COSTOS	22
6	CONCLUSIONES	23
6.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	23
6.2	EVENTOS EXTREMOS	23
6.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	23
6.4	RED HIDROMÉTRICA FINAL	23
6.5	RED PIEZOMÉTRICA.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 DIAGRAMA ETAPA I: SELECCIÓN DE ESTACIONES CRÍTICAS PRELIMINARES.....	4
FIGURA 2.2 DIAGRAMA ETAPA II: REVISIÓN ESTACIONES CRÍTICAS SELECCIONADAS	5
FIGURA 2.3 DIAGRAMA ETAPA III: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	5
FIGURA 2.4 DIAGRAMA ETAPA IV: PLAN DE ACCIÓN.....	6
FIGURA 2.5 DIAGRAMA METODOLOGÍA ANÁLISIS CRÍTICO RED PIEZOMÉTRICA	6
FIGURA 3.1 RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL	8
FIGURA 5.1 PROPUESTA DE ESTACIONES PIEZOMÉTRICAS, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA	21

Índice de Tablas

TABLA 4.1 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED ARICA Y PARINACOTA	13
TABLA 4.2 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CRÍTICAS, REGIÓN ARICA Y PARINACOTA.....	14
TABLA 4.3 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN ARICA Y PARINACOTA.....	15
TABLA 4.4 FACTOR ELEVACIÓN	16
TABLA 4.5 FACTOR DE ACCESIBILIDAD	16
TABLA 4.6 FACTOR TAMAÑO ESTACIÓN	16
TABLA 4.7 CAUDALES ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	17
TABLA 4.8 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICA	17
TABLA 4.9 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA.....	18
TABLA 5.1 CANTIDAD DE POZOS PROPUESTOS	19

1 INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Aguas (DGA), ha encargado el estudio "**Diagnóstico para la implementación de Red Nacional de Alerta de Eventos Hidrometeorológicos Extremos**". DGA-MOP ID 1019-22-LQ21" a la UTP INRHED SPA – EMERGE INGENIERÍA, con el objetivo de diagnosticar de forma interdisciplinaria el estado de la Red Hidrométrica de las Macro Zonas Norte y Centro Norte del país y establecer medidas de infraestructura necesarias para dar cobertura a las debilidades críticas de la red de monitoreo hidrométrico con enfoque en la protección civil, y la gestión temprana de riesgos naturales. Lo anterior enfocado a futuro para la elaboración de una red de alerta.

El estudio comprende cuatro etapas, cada una de ellas complementa e integra nuevos antecedentes con la finalidad de desarrollar un producto integrado que entregue cumplimiento a lo exigido en las bases técnicas y propuesta metodológica de las consultoras.

El presente informe corresponde a la etapa final del proyecto, que incluye el desarrollo de las etapas I, II, III y IV. A su vez este informe se encuentra dividido en tomos por cada región en estudio y ordenados de norte a sur, los cuales son los siguientes:

- Tomo I. Informe Red Arica y Parinacota
- Tomo II. Informe Red Tarapacá
- Tomo III. Informe Red Antofagasta
- Tomo IV. Informe Red Atacama
- Tomo V. Informe Red Coquimbo
- Tomo VI. Informe Red Valparaíso
- Tomo VII. Informe Red Metropolitana

A continuación, se presenta el Tomo I correspondiente a la Red de la Región de Arica y Parinacota, enfocado en los siguientes temas principales:

- Recopilación y análisis de antecedentes
- Evaluación y diagnóstico del estado actual de la red hidrométrica de la región
- Reunión con los Jefes Regionales de Hidrología
- Visitas a terreno

- Análisis estadístico y de calidad de la red hidrométrica
- Determinación de estaciones críticas
- Fichas diagnóstico de las estaciones críticas
- Evaluación y diagnóstico del estado actual de la red piezométrica
- Plan de acción
- Archivos SIG generados

Siendo la finalidad de este informe poder entregar todos los antecedentes necesarios para poder contar con una red robusta pensando en la protección civil.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Diagnosticar de forma interdisciplinaria el estado de la Red Hidrométrica de las Macro Zonas Norte y Centro Norte del país y establecer las medidas de infraestructuras necesarias para dar cobertura a las debilidades críticas de la red de monitoreo hidrométrico con enfoque en la protección civil y la gestión temprana de riesgos naturales.

Diagnosticar de forma interdisciplinaria el estado de la Red Piezométrica de las Macro Zonas Norte y Centro Norte del país, estableciendo mejoras en aumentar la red de monitoreo con enfoque en los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común que se encuentren en categoría de prohibición y restricción.

1.1.2 Objetivos específicos

- 1- Revisar y recopilar los antecedentes bibliográficos que permitan conocer estudios de carácter similar, así como también adquirir nuevos conocimientos respecto a la zona de estudio.
- 2- Realizar visitas a terreno que permitan conocer el estado actual de la red hidrométrica.
- 3- Elaborar fichas de las estaciones visitadas, que reflejen los problemas generales de la red hidrométrica.
- 4- Definir estaciones críticas preliminares y nuevas para la protección civil, la gestión de desastres y la gestión integrada de recursos hídricos.

- 5- Determinar tiempos de concentración de las estaciones críticas preliminares y nuevas.
- 6- Realizar visitas a terreno a las estaciones críticas preliminares, que permitan conocer el estado de estas estaciones.
- 7- Elaborar fichas de las estaciones críticas finales visitadas, que reflejen los problemas de cada estación.
- 8- Validar las estaciones hidrométricas determinadas como críticas preliminares, dando paso a la clasificación de estaciones críticas finales.
- 9- Efectuar una revisión de los registros estadísticos que permita establecer relaciones entre el registro de precipitación máxima, el caudal máximo instantáneo y eventos extremos ocurridos en las zonas de estudio.
- 10- Definir una estación meteorológica estándar.
- 11- Determinar las brechas y realizar una evaluación económica entre la estación meteorológica estándar y las estaciones definidas como críticas finales.
- 12- Definir una estación fluviométrica estándar.
- 13- Determinar las brechas y realizar una evaluación económica entre la estación fluviométrica estándar y las estaciones definidas como críticas finales.
- 14- Realizar un análisis crítico de la red piezométrica con la finalidad de obtener un diagnóstico panorámico, estableciendo posibles mejoras relativas a aumentar la red de monitoreo para enfrentar eventos extremos de sequía.

2 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología para el desarrollo del presente estudio. La metodología se divide en 4 etapas: 1) Selección de estaciones críticas preliminares, 2) Revisión de las estaciones críticas seleccionadas, 3) Generación del SIG y 4) Plan de Acción. La Figura 2.1, Figura 2.2, Figura 2.3 y Figura 2.4 muestran un diagrama conceptual de las Etapas I, II, III y IV, respectivamente.

Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

1. Recopilación y revisión antecedentes
2. Diagnóstico de la red hidrométrica
3. Reuniones con los Jefes Regionales de Hidrología
4. Estaciones protocolo DGA - ONEMI
5. Visitas a terreno N°1
6. Selección estaciones críticas preliminares
7. Población vulnerable
8. Tiempo de concentración

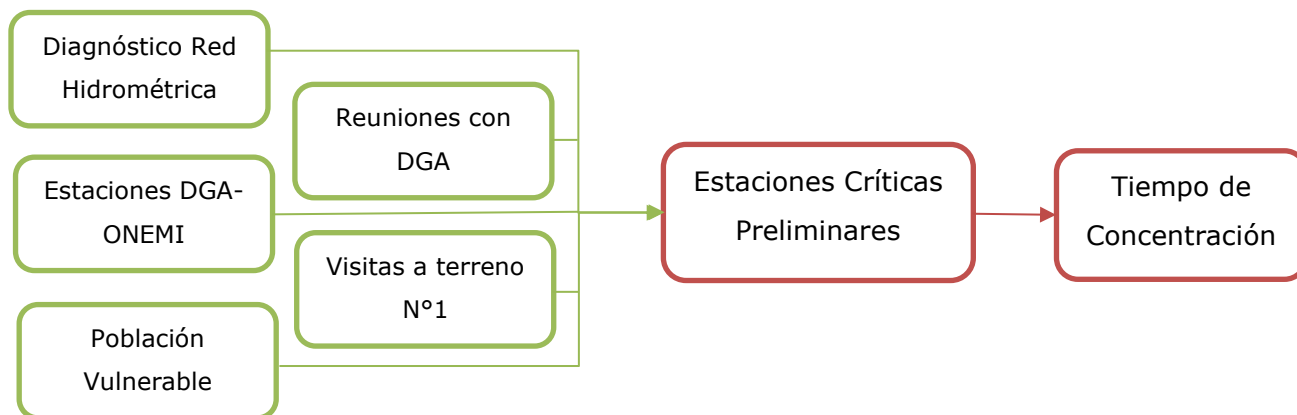


Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

Etapa II: Revisión de estaciones críticas seleccionadas

9. Análisis estadístico y calidad de la red
10. Reunión de validación con los Jefes Regionales de Hidrología
11. Visita a terreno N°2
12. Propuesta final estaciones críticas
13. Fichas estaciones críticas
14. Conclusiones

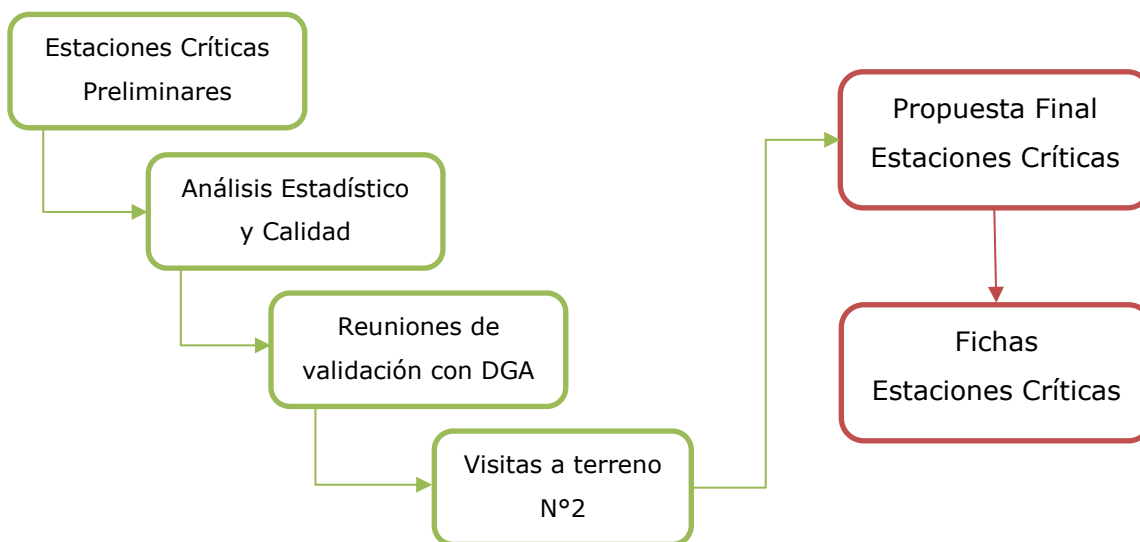


Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas

Etapa III: Generación del Sistema de Información Geográfica (SIG)

15. Entrega de información para Geodatabases o shape files.



Figura 2.3 Diagrama Etapa III: Sistema de Información Geográfica

Etapa IV: Plan de Acción

16. Estaciones críticas finales
17. Definición de estación estándar
18. Identificación de brechas
19. Evaluación de costos



Figura 2.4 Diagrama Etapa IV: Plan de Acción

Paralelamente, en la Figura 2.5 se presenta la metodología del análisis crítico de la red piezométrica.

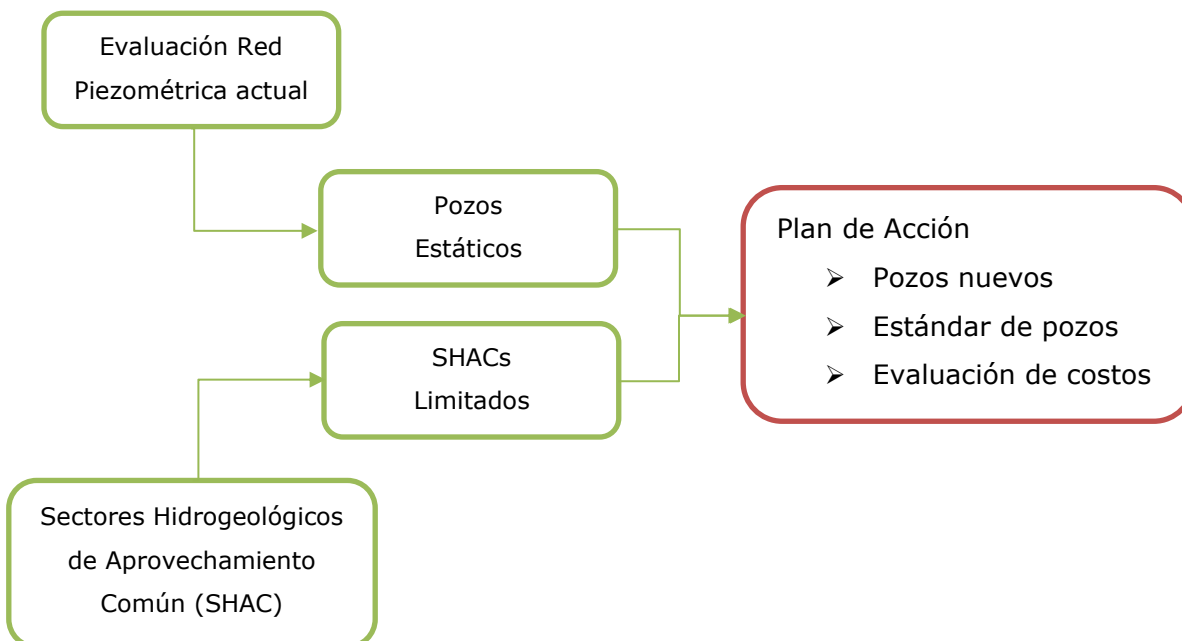


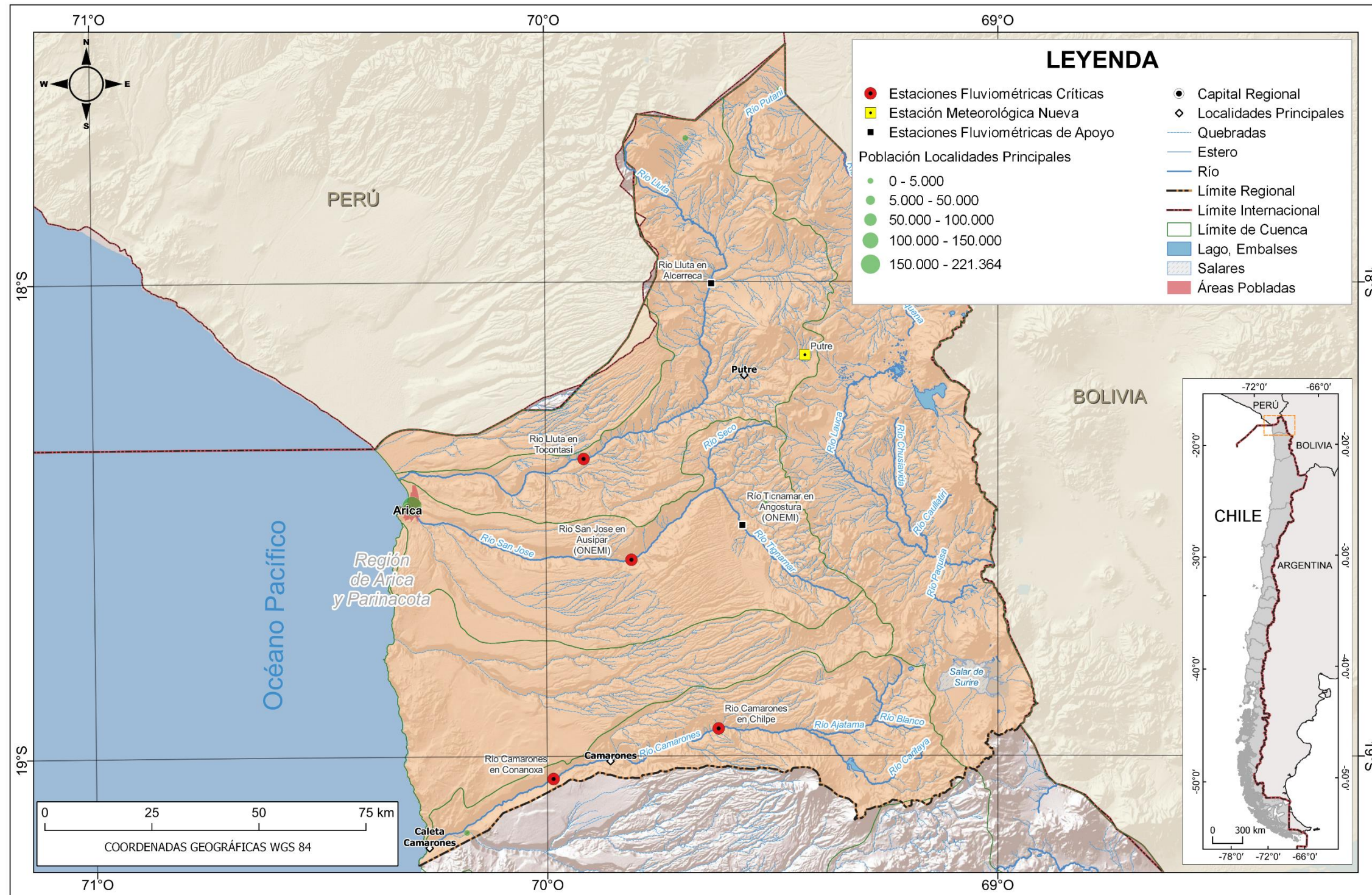
Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica

3 RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL

Como resultado de los análisis expuestos entre los capítulos 4 y 11 del informe final del estudio, se llegó a la lista de estaciones que componen la red hidrométrica final.

La Figura 3.1 muestra la configuración de la red hidrométrica final compuesta por las siguientes estaciones.

- Estaciones fluviométricas de apoyo
 - Río Ticnamar en Angostura
 - Río Lluta en Alcérreca
- Estaciones fluviométricas
 - Río San José en Ausipar
 - Río Lluta En Tocontasi
 - Río Camarones En Chilpe
 - Río Camarones En Conanoxa
- Estaciones nuevas
 - Putre



A modo global se presenta un resumen sobre los puntos más importantes de la red crítica.

- **Estadística general:** De forma global se aprecia que en la región muchas estaciones poseen años incompletos de datos, así como también mucha cantidad de cortes en sus data.

Entre los registros de caudal destaca la estación Río Camarones en Conanoxa, que registra un caudal de 224,17 m³/s ocurrido el año 2012 y la estación Río Lluta en Tocontasi con un caudal de 185,87 m³/s registrado el año 2016.

- **Obras existentes y deficiencias:**
 - **Acceso:** En el caso de las estaciones visitadas en esta región se destaca que la mayoría posee dificultad en el acceso. Incluso en el caso de la estación Río Lluta en Tocontasi el camino de ingreso es por la ribera izquierda del Río Lluta mientras que los instrumentos de medición se encuentran en la ribera derecha.
 - **Emplazamiento:** Para el caso de las estaciones fluviométricas visitadas, poseen un buen emplazamiento respecto al cauce, ubicadas en secciones rectas de los ríos.
 - **Estructura:** Respecto a la estructura de las estaciones fluviométricas visitadas, la estación Río Lluta en Tocontasi requiere reparación en su muro guía y no posee gaviones de protección. Por otro lado, llama la atención que la estación Río Camarones en Chilpe fue reparada el año 2020 pero presenta varios cables sin protección, mientras que la estación Río Camarones en Conanoxa se encuentra en proceso de reconstrucción.
 - **Instrumentación:** Las estaciones se encuentran bien equipadas, cuentan con datalogger y transmisión satelital. En el caso de la estación Río Lluta en Tocontasi su panel solar se encuentra a los pies de un talud por lo que se presume que gran parte del día no recibe luz solar.
 - **Otro:** En general las estaciones necesitan mantención y reparaciones menores a excepción de Río Lluta en Tocontasi.
- **Población vulnerable:** Con estas estaciones se contempla que 221.864 habitantes serán resguardados en la región de Arica y Parinacota, distribuidos en

las siguientes zonas: Arica (221.364 hab.), Chacalluta, Cuya (289 hab.), Caleta Camarones (43 hab.) y Camarones (168 hab.).

- **Diagnóstico final:** Se necesita realizar mantenciones, reparaciones menores y reconstrucción en el caso de la estación Río Lluta en Tocontasi, de esta manera se podrá contar con una red robusta de monitoreo para la región. En cuanto a su equipamiento son estaciones completas, que poseen datalogger y transmisión satelital.

3.1 Estaciones Críticas Finales

A continuación, se presentan los argumentos que reafirman la calidad de críticas de las estaciones seleccionadas preliminarmente.

- 1- **Río San José en Ausipar:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó como estación crítica. Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir población vulnerable en el valle de Azapa, y luego la ciudad de Arica. En la visita a terreno se confirma la presencia de población vulnerable. Se observa además el estado de la estación, que requiere de varias mejoras, entre otras cosas la estación tiene malas terminaciones en el hormigón, y un acceso malo, ya que es necesario ingresar por el río, lo que luego de una crecida grande se hace imposible, requiriendo trabajos. Sin embargo, la estación da una señal de alerta a la ciudad de Arica y personas que habitan el valle de Azapa, además de las personas que podrían estar trabajando en actividades de agricultura en el mismo valle, por lo que se reafirma su clasificación de estación crítica.
- 2- **Río Lluta En Tocontasi:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir población vulnerable en el valle del río San José. En la visita a terreno se confirma la presencia de algunas poblaciones dispersas en el valle y una gran cantidad de actividades agrícolas. Se constató además que la estación se encuentra iniciando su reconstrucción, por lo que no se puede evaluar las deficiencias de la estación. Finalmente, por motivos de ubicación con respecto a la población vulnerable en el valle y en el sector de la desembocadura (Chacalluta) con un sector industrial importante, es que se reafirma su clasificación de estación crítica. Cabe decir que actualmente está en construcción el embalse Chironta, ubicado aguas arriba de la construcción, cuyo objetivo es,

entre otros, de regulación de crecidas, por lo que luego de su construcción se debe reevaluar la clasificación de estación crítica.

- 3- **Río Camarones En Chilpe:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir población vulnerable en el valle aguas abajo de la estación. En la visita a terreno se confirma la presencia de algunas poblaciones pequeñas en el valle de la quebrada y actividades agrícolas a pequeña escala. Se observa además que la estación tiene un mal acceso, donde se ingresa a un camino en zona de quebradas, que no tienen ningún mantenimiento por parte de Vialidad. El camino frecuentemente tiene rodados, que caen por la ladera del cerro, que deben ser despejados para poder atravesar. Existen grandes probabilidades que el problema de rodados haga imposible el acceso. Entre otros problemas observados en la estación tiene una estructura deficiente en su entrada y salida. Finalmente, la estación es importante para poder generar una alerta para las pequeñas poblaciones que existen en el valle de Camarones, por lo que se reafirma su calidad de estación crítica.
- 4- **Río Camarones En Conanoxa:** Esta estación protege a las localidades de Cuya y Caletas Camarones, poblaciones que se encuentran en la parte baja de la cuenca Q. Río Camarones. Esta estación además logra identificar nuevos aportes de quebradas que no han sido captados por la estación Río Camarones En Chilpe, logrando tener un registro más certero sobre la magnitud de un evento extremo. El acceso a la estación es por caminos de tierra en buen estado y actualmente se encuentra en proceso de reparación de sus muros guías y construcción de canal de estiaje.

3.2 Estaciones Nuevas

En el desarrollo de este estudio se identificó en la región una deficiencia en la red de monitoreo para la localidad de Putre, debido a que la estación se encuentra en la localidad, no siendo de utilidad para poder generar una alerta ante un evento extremo. La estación nueva propuesta otorga un tiempo de 1,81 horas para generar una alerta en caso de ser necesario a la localidad de Putre. Por lo tanto, se propone una estación meteorológica nuevas en esa zona.

- Putre

3.3 Estaciones de Apoyo

En los análisis se definieron estaciones de apoyo, que son estaciones que los Jefes Regionales de Hidrología consideran importantes para el correcto monitoreo de eventos hidrológicos importantes, pero que por su ubicación, muy cercana a la población en la mayoría de los casos, fueron descartadas como críticas. Las estaciones de apoyo en la región son las siguientes.

- 1- **Río Ticnamar en Angostura:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que en una primera instancia se seleccionó como estación crítica. Pero observando la capa shape de localidades e imágenes satelitales no existen poblaciones vulnerables por el río Ticnamar hasta la llegada a la estación Río San José en Ausipar, esto fue confirmado en la visita a terreno realizada. Otra cosa que se observa en terreno es el mal acceso a la estación, se debe cruzar el río en dos ocasiones, por lo que luego de una crecida de proporciones es muy probable que no sea posible el ingreso a la estación, requiriendo de un despeje con maquinaria pesada. Por estos motivos la estación fue descartada como crítica, pero considerando la opinión del Jefe Regional de Hidrología se determina como estación de apoyo.
- 2- **Río Lluta en Alcérreca:** Esta estación es considerada como importante para el Jefe regional de Hidrología, debido a que monitorea la parte alta del río Lluta y si bien en ese cauce hemos considerado como crítica la estación Río Lluta en Tocontasi que debido a su ubicación monitorea un mayor número de quebradas, hemos considerado de todas formas la opinión del Jefe Regional de Hidrología considerando la estación como apoyo.

4 PLAN DE ACCIÓN

En la sección 13.1 del informe final se establecieron las especificaciones técnicas de las estaciones fluviométricas y meteorológicas estándar de la red hidrométrica crítica. En base a estas definiciones se identificaron las brechas entre las estaciones pertenecientes a la red crítica y las estaciones estándar. A continuación, se muestran los resultados de las brechas y la evaluación de costos del plan de acción.

4.1 Valorización de la Red

Para la valorización de la red de estaciones críticas, en el caso de las estaciones meteorológicas se consideró la estación estándar, pero para el caso de las estaciones fluviométrica se realizó un catastro de licitaciones históricas, identificando un valor aproximado del costo asociado a una estación totalmente nueva. Para esto las estaciones críticas finales se clasificaron de acuerdo a su caudal de 50 años de periodo de retorno en estaciones pequeñas, medianas, grandes con losa y grandes sin losa. Además, de considerar un factor que pondera la accesibilidad de la estación. La Tabla 4.1 muestra el valor de las estaciones fluviométricas perteneciente a la red Arica y Parinacota, sumando un total de \$1.470 millones de pesos, si a esto le sumamos el costo total de la red piezométrica desarrollada en el capítulo 14.4 del informe final y una estación meteorológica. El costo total de la implementación de una red totalmente nueva asciende a **\$1.575 millones de pesos**. En el **Anexo 11** se incluyen los cálculos de la estimación de los precios.

Tabla 4.1 Valor de las estaciones fluviométricas críticas Red Arica y Parinacota

Código BNA	Nombre	Caudal T=50 [m ³ /s]	Clasificación	Factor	Precio
01502008-3	Río Camarones en Chilpe	125,26	3	1	\$ 296.398.485
01502002-4	Río Camarones en Conanoxa	150,01	3	1	\$ 352.139.905
01310002-0	Río San José en Ausipar	161,34	3	1	\$ 377.665.102
01210001-9	Río Lluta en Tocontasi	190,90	3	1	\$ 444.757.846
Total					\$1.470.961.339

4.2 Identificación de Brechas

La identificación de las brechas es un análisis de los ítems estructurales, instrumentales y/o diseño que le faltan a cada estación para alcanzar el estándar definido en la sección 13.1 del informe final.

4.2.1 Estaciones meteorológicas

En la Tabla 4.2 se identifican las brechas para la estación meteorológica considerada como nueva propuesta para esta región, esta estación se emplazaría a una altitud aproximadamente de 4.550 m.s.n.m.

Tabla 4.2 Brechas estaciones meteorológicas críticas, Región Arica y Parinacota

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	
			Estación estándar	Putre
1 Estructura				
1.1	Instalación de Faena	un	1	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1
1.3	Pollos de hormigón H-25	un	6	6
1.4	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	1
1.6	Pintura	un	1	1
1.7	Cerco Perimetral 3,0X3,0m	gl	1	1
1.8	Letrero de Identificación de la Estación	gl	1	1
1.9	Letrero de Peligro	gl	1	1
1.1	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	1
2 Instrumental				
2.1	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	1
2.2	Panel Solar 40W	un	1	1
2.3	Batería 55AH	un	1	1
2.4	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	1
2.5	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1
2.6	Caseta tipo DGA	un	1	1

4.2.2 Estaciones fluviométricas

En la Tabla 4.3 se identifican las brechas identificadas de las estaciones fluviométricas críticas Río San José en Ausipar, Río Lluta en Tocontasi, Río Camarones en Chilpe y Río Camarones en Conanoxa.

Tabla 4.3 Brechas estaciones fluviométricas críticas, Región Arica y Parinacota

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad				
			Estación Estandar	Río San José en Ausipar	Río Lluta En Tocontasi	Río Camarones En Chilpe	Río Camarones En Conanoxa
1	Construcción y estructura						
1.1	Instalación de Faena	un	1	1	1	1	0
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1	1	1	0
1.3	Desembanque y Encauzamiento	un	1	1	1	1	0
1.4	Enrocado de Protección	un	1	1	1	1	0
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	1	1	1	0
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	1	1	0	0
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	0	1	0	0
1.8	Estructura para Instalación del Sensor de Nivel	gl	1	0	1	0	0
1.9	Carro de Aforo (incluye cable, soporte, base concreto y torre para el carro)	un	1	1	1	1	0
1.1	Escalines de acceso a la regla limnimétrica	un	1	1	1	1	0
1.11	Pollos de hormigón H-25	un	5	0	1	1	0
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	0	1	1	0
1.13	Caseta DGA	un	1	0	0	0	0
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	0	0	0	0
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	0	0	0	0
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	0	1	0	0
1.17	Letrero Peligro	gl	1	1	1	0	0
1.18	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	1	1	1	1
2	Instrumental						
2.1	Fluviométrica						
2.1.1	Sensor de nivel (con 10 m de cable autocompensado)	un	1	0	0	0	0
2.1.2	Regla Limnimétrica	un	1	0	1	0	0
2.2	Meteorológica						
2.2.1	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	0	0	0	0
2.2.2	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1	1	0	0
2.3	Estación						
2.3.1	Batería 55AH	un	1	0	0	0	0
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	0	0	0	0
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	0	0	0	0
3	Diseño						
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	1	0	1	1	0

4.3 Evaluación de Costos

A partir de las brechas identificadas y el presupuesto de las estaciones estándar presentados en la sección 13.1 del informe final, se elaboraron los costos de cada estación de la red hidrométrica crítica.

Para la evaluación de los costos de la estructura se utiliza una metodología de ponderación mediante factores que consideran la elevación, la accesibilidad a la estación y para el caso de las estaciones fluviométricas el caudal asociado a un periodo de retorno de 50 años. La Tabla 4.4 muestra los factores de ponderación en base a la elevación, considerando que las dificultades de construcción se agravan a una elevación mayor a los 3.000 m.s.n.m. La Tabla 4.5 muestra los factores de accesibilidad considerados, este es un criterio subjetivo, basado en las observaciones en terreno y en la opinión del Jefe Regional de Hidrología de la DGA, mientras que la Tabla 4.6 muestra los factores asociados a los caudales con periodo de retorno de 50 años en el caso de las estaciones fluviométricas, los rangos de caudal también se definieron considerando las visitas a terreno realizadas.

Tabla 4.4 Factor elevación

Elevación [m.s.n.m]	Factor
0 – 3.000	1
3.000 – 5.000	1,4

Tabla 4.5 Factor de accesibilidad

Accesibilidad	Factor
Buena	1
Regular	1,1 – 1,3
Mala	1,4 – 1,6

Tabla 4.6 Factor tamaño estación

Tipo Estación	Tamaño estación	Rango caudal T=50 [m ³ /s]	Factor
1	Pequeña	> 33	0,6
2	Mediana	33-100	1
3	Grande con losa	100-200	2
4	Grande sin losa	200 >	1,5

En la Tabla 4.7 se aprecian los caudales obtenidos para un periodo de retorno de 50 años, de las estaciones críticas finales para esta región.

Tabla 4.7 Caudales asociados a un periodo de retorno de 50 años

Código BNA	Estación	Caudal T=50 [m ³ /s]	Método	TIPO
01502008-3	Río Camarones en Chilpe	125,26	Transposición de caudales	3
01502002-4	Río Camarones en Conanoxa	150,01	Análisis de frecuencias	3
01310002-0	Río San José en Ausipar	161,34	Análisis de frecuencias	3
01210001-9	Río Lluta en Tocontasi	190,90	Análisis de frecuencias	3

4.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.8 muestra el costo asociado a la estación nueva propuesta en la localidad de Putre a una altitud cercana a los 4.550 m.s.n.m. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$26 millones de pesos.

Tabla 4.8 Costos Plan de Acción estación meteorológica

Ítem	Descripción	Valor Putre
1	Estructura	\$ 5.593.751
2	Instrumental	\$ 6.381.800
Total Neto		\$ 11.975.551
Factor de elevación		x1,4
Factor de accesibilidad		x1,3
Total Neto Ponderado		\$ 21.795.503
IVA (19%)		\$ 4.141.146
Total		\$ 25.936.648

4.3.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 4.9 muestra el costo asociado a la identificación de brechas de las estaciones fluviométricas de la región. Se destaca que para el caso de la estación Río Camarones en Conanoxa solo se considera la implementación del letrero de zona de inundación y vía de evacuación. En el caso de las estaciones Río San José en Ausipar, Río Lluta en Tocontasi y Río Camarones Chilpe, requieren obras mayores. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$303 millones de pesos.

Tabla 4.9 Costos Plan de Acción estación fluviométrica

Ítem	Descripción	Río San José en Ausipar	Río Lluta en Tocontasi	Río Camarones en Chilpe	Río Camarones en Conanoxa
1	Construcción Y Estructura	\$ 30.274.305	\$ 36.551.777	\$ 28.771.477	\$ 150.952
2	Instrumental	\$ 696.000	\$ 1.006.050	-	-
3	Diseño	-	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	-
Total Neto		\$ 30.970.305	\$ 52.557.827	\$ 43.771.477	\$ 150.952
Factor de Elevación		x1	x1	x1	x1
Factor de Accesibilidad		x1	x1	x1	x1
Factor Tamaño		x2	x2	x2	x2
Total Neto Ponderado		\$ 61.940.610	\$ 105.115.654	\$ 87.542.954	\$ 301.904
IVA (19%)		\$ 11.768.716	\$ 19.971.974	\$ 16.633.161	\$ 57.362
Total		\$ 73.709.32	\$ 125.087.628	\$ 104.176.115	\$ 359.266

4.3.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$329 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 4 estaciones fluviométricas y 1 estación meteorológica nueva.

5 PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA

En el análisis de calidad, expuesto en la sección 14.3 del informe final se discuten los SHAC con limitaciones (área de restricción o zona de prohibición) y que no se encuentran monitoreados. También se analizan el comportamiento de los pozos para cruzar con los SHAC. A partir de estos análisis se propusieron pozos nuevos, así como una definición del pozo estándar y una evaluación de costos del plan total.

5.1 Identificación lugar de pozos

La red piezométrica propuesta para la región de Arica y Parinacota consiste en mantener los pozos estáticos que se mantienen vigentes (pozos con mediciones hasta el año 2018 y posterior), agregar nuevos pozos en SHAC que no se encuentran monitoreados, y en puntos estratégicos donde no existe medición de niveles estáticos.

Se considera como pozo vigente a aquellos con mediciones hasta el año 2018 y posterior, basado en que durante los años 2019 y 2021 han ocurridos eventos a nivel nacional que podrían haber impedido realizar las mediciones correspondientes (COVID-19, entre otros).

Basado en los criterios indicados anteriormente (monitoreo de acuíferos y SHAC), en la Figura 5.1 se muestran las estaciones piezométricas propuestas y las con mediciones estáticas que se mantienen vigentes.

En la Tabla 5.1 se indica la cantidad de pozos propuestos en cada SHAC, las coordenadas referenciales en las que se ubican, y el tipo de limitación en el que se encuentra.

Tabla 5.1 Cantidad de pozos propuestos

ID	SHAC	Tipo de restricción	Cantidad de pozos propuestos	Coordenadas Referenciales UTM WGS84	
				Este (m)	Norte (m)
1	Lluta Bajo	Área de Restricción	1	368.799	7.963.811
2	Azapa	Zona de Prohibición	1	375.759	7.951.631
3	Río Camarones	Acuífero Abierto	1	373.975	7.880.249
Total Pozos Propuestos			3		

La ubicación referencial de la red de pozos propuestos está basada en la importancia de la medición de los niveles estáticos, su utilidad a la hora de desarrollar modelos conceptuales y en modelos numéricos de aguas subterráneas.

Los principales criterios utilizados para la propuesta son:

1. Mantener los pozos que miden niveles estáticos, debido a que cuentan con un registro importante de niveles que es prioridad conservar.
2. Los acuíferos que cuentan con algún tipo de limitación en cuanto a nuevos derechos de agua, ya sea restricción o prohibición, deben tener al menos un pozo midiendo niveles estáticos.
3. La utilización del monitoreo de extracciones efectivas de pozos que no extraen caudales pero que de todas maneras reportan niveles a la DGA. Esto se propone de manera provisoria en los SHAC que se encuentran abiertos.

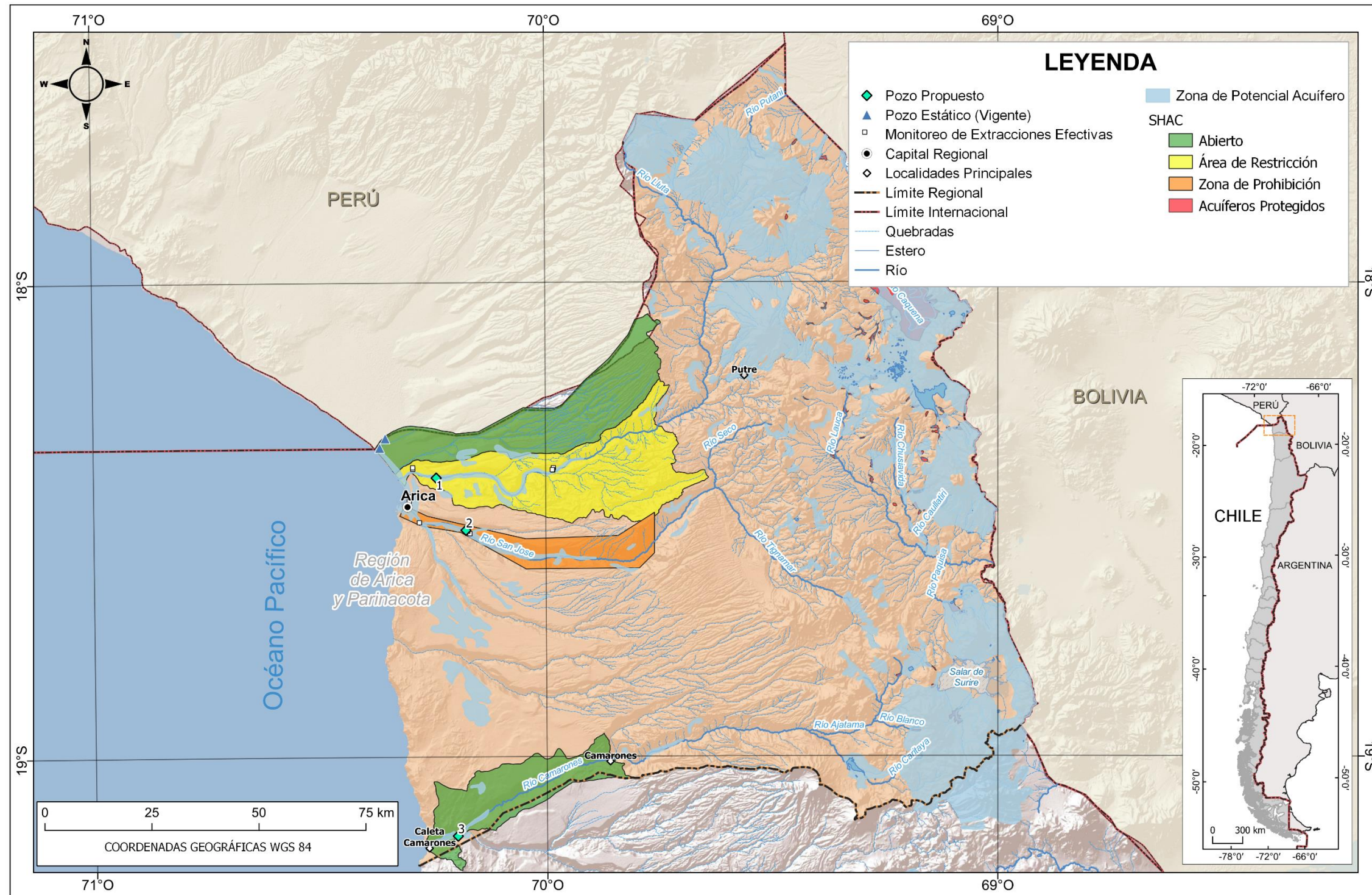


Figura 5.1 Propuesta de estaciones piezométricas, Región de Arica y Parinacota

5.2 Evaluación de costos

Respecto al costo monetario de un pozo de la red piezométrica estándar, éste queda determinado por costos estructurales asociados a la instalación de la estación, costos de transmisión y un costo variable que queda establecido por la profundidad del sondaje.

Un pozo estándar de la red de una profundidad de 50 metros y habilitado para la transmisión satelital de niveles tiene un costo aproximado de 30 millones de pesos.

En una primera etapa, donde se tiene como prioridad los SHAC con algún tipo de limitación, se propone la construcción de 3 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 150 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 3 estaciones, procurando llegar al nivel freático actual y que permita medir el nivel freático a futuro.

El costo de perforación alcanza los 870 mil pesos, y el costo de la red completa habilitada para la transmisión tiene un costo aproximado de 90,5 millones de pesos para la Región de Arica y Parinacota.

6 CONCLUSIONES

6.1 Disponibilidad de datos

Las estaciones críticas fluviométricas seleccionadas poseen sobre 35 años de estadística, pero con pocos años considerados como válidos. A excepción de Río Camarones en Chilpe que solo posee 5 años válidos.

En la región de Arica y Parinacota las estaciones críticas fluviométrica seleccionadas también poseen registros meteorológicos, es el caso de la estación Río Camarones en Chilpe que posee 15 años válidos de estadística y se encuentra en estado vigente.

6.2 Eventos extremos

Las estaciones fluviométricas críticas seleccionadas han registrado gran cantidad de estadística y dentro de ella varios eventos extremos. En los gráficos de caudales y alturas máximas es posible observar la magnitud de las crecidas, donde en las últimas dos décadas existen alrededor de 4 eventos que sobresalen con respecto a los otros (2012, 2013, 2016 y 2018), además se evidencia la importancia de tener todas las estaciones vigentes y por sobre todo las que son de cierre, que estarían aguas arriba de poblaciones importantes.

6.3 Distribución espacial

Se aprecia una buena distribución de estaciones meteorológicas en toda la región, con una importante densidad y distribución en las zonas donde pueden ayudar a registrar datos en ayuda de proteger a poblaciones vulnerables. Salvo por la localidad de Putre, donde esta localidad se propone una estación meteorológica que otorga un tiempo de respuesta de 1,81 horas a dicha localidad.

6.4 Red Hidrométrica Final

En una primera instancia para esta región se consideraron 5 estaciones críticas, las cuales a lo largo del desarrollo de este estudio y con los antecedentes que se recopilaban se rectificó la elección de 4 de ellas y 1 paso a ser categorizada como de apoyo, considerando las observaciones del Jefe Regional de Hidrología. Por otro lado, se detectó

una deficiencia en la localidad de Putre, lo cual dio paso a proponer 1 estación nueva. Finalmente, las estaciones críticas finales en resguardo de la población son:

- Estaciones fluviométricas de apoyo
 - Río Ticnamar en Angostura
 - Río Lluta en Alcérreca
- Estaciones fluviométricas
 - Río San José en Ausipar
 - Río Lluta En Tocontasi
 - Río Camarones En Chilpe
 - Río Camarones En Conanoxa
- Estaciones nuevas
 - Putre

6.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Arica y Parinacota presenta un total de 32 estaciones piezométricas, de las cuales la mayoría están en los acuíferos Río San José, Río Lluta, y Quebrada de la Concordia. La calidad de la información presentada en dichos acuíferos por las estaciones proviene de un porcentaje importante de pozos ubicados en la zona oeste del acuífero.

Respecto a los SHAC, algunos están en condición crítica, es decir, están clasificados como área de restricción o zona de prohibición, y el acuífero Río Camarones que corresponde a un acuífero abierto no cuenta con estaciones piezométricas.

Los SHAC que no cuentan con pozos que miden niveles estáticos son:

SHAC en área de restricción:

- Lluta Bajo

SHAC en zona de prohibición:

- Azapa

Estos SHAC tienen problemas de disponibilidad del recurso hídrico, ya sea por falta de oferta o por sobredemanda, por lo que para tener una idea más acabada de la situación

particular se recomienda la instalación de estaciones piezométricas. En base a lo mismo se sugiere la construcción de pozos en las zonas donde no se cuenta con pozos estáticos o que ya no cuentan con medición (considerar que constructivamente sean lo más similar posible a dichos pozos), con el fin de rescatar y continuar con la estadística ya medida.